

Neuropsychologiczne aspekty percepcji muzyki

DOI: 10.14746/rfn.2018.19.5

Wydaje się, że nie ma przesady w twierdzeniu, że muzyka towarzyszy człowiekowi od początku dziejów, a studiowanie przeszłości gatunku ludzkiego jest zarazem studiowaniem historii muzyki. Najstarsze odnajdowane na stanowiskach archeologicznych kościane flety datowane są na co najmniej 40 tys. lat p.n.e., zaś zdolność przedstawicieli *Homo sapiens* do muzykowania przypuszczalnie wyprzedza produkcję instrumentów o kilkadziesiąt bądź nawet kilkaset tysięcy lat¹. Choć przyjęło się często mówić o sztuce jako o produkcie ubocznym selekcji naturalnej (zob. pracę J. Tooby'ego i L. Cosmides²), coraz większa liczba badaczy wskazuje na ogromną rolę, jaką odegrała muzyka w naszej ewolucji. Zdolność do wokalizy i melodycznego nawoływania, cechująca również niektóre z innych naczelnych (np. „duety” gibbonów), legła najprawdopodobniej u podłoża rozwoju zdolności językowych człowieka³ (zob. interesująca koncepcja „muzyjęzyka” S. Browna jako stadium przejściowego⁴). Znajduje to swoje odzwierciedlenie

również w rozwoju ontogenetycznym – niemowlęta od pierwszych dni życia wykazują uwrażliwienie na parametry dźwięków ważne w przetwarzaniu muzyki, jak wysokość czy tempo, które następnie wykorzystywane są m.in. przy wykrywaniu granic między słowami i zdaniami w procesie nabywania języka⁵. Muzyka tradycyjnie odgrywa także znaczącą rolę w tworzeniu i podtrzymaniu relacji interpersonalnych. Jest ona sposobem budowania więzi między członkami społeczności, elementem tradycji ilustrującym najważniejsze z życiowych zdarzeń (np. rytuały pogrzebowe), narzędziem koordynacji działań (np. wspólna praca czy walka), jak i budowania tożsamości w transmisji międzypokoleniowej (np. utwory historyczne czy pieśni plemienne)⁶. Wreszcie, nucenie melodii i śpiewanie niemowlętom odgrywa niebagatelną rolę w rozwoju i regulacji stanów emocjonalnych, protokomunikacji oraz formowaniu się wczesnej więzi między dzieckiem a opiekunem⁷.

Opisane zjawiska społeczne i emocjonalne cechuje uderzająca międzykulturowa uniwersalność oraz niezależność od indywidualnych doświadczeń

¹ D. Huron, *Is Music an Evolutionary Adaptation?*, „Annals of the New York Academy of Science” 2001 t. 930, s. 43–61.

² J. Tooby, L. Cosmides, *Does Beauty Build Adapted Minds? Toward an Evolutionary Theory of Aesthetics, Fiction and the Arts*, „Substance” 2001 t. 30 nr 1/2, s. 6–27.

³ N. Matasaka, *Music, Evolution and Language*, „Developmental Science” 2007 t. 10 nr 1, s. 35–39.

⁴ S. Brown, *The “Musilanguage” Model of Music Evolution*, [w:] *The Origins of Music*, red. N.L. Wallin, B. Merker, S. Brown, MIT Press, Cambridge, Mass. 2001, s. 271–300.

⁵ S. Trehub, *The Developmental Origins of Musicality*, „Nature Neuroscience” 2003 t. 6 nr 7, s. 669–673.

⁶ J. Schulkin, G.B. Raglan, *The Evolution of Music and Human Social Capability*, „Frontiers in Neuroscience” 2014 nr 8, art. 292, s. 1–13.

⁷ A. Creighton, *Mother-Infant Musical Interaction and Emotional Communication: A Literature Review*, „Australian Journal of Musical Therapy” 2011 t. 22, s. 37–56.

muzycznych jednostki. Trudno zatem nie zgodzić się z D.A. Hodgesem oraz S. Koelschem postulującymi, że muzyka jest integralną częścią nie tylko kultury, ale i natury człowieka, a mózg jako centralna część układu nerwowego swą budową i funkcjonowaniem predysponuje nas do bycia muzykalnymi⁸. Co więcej, muzyka – zarówno w aspekcie percepcji, jak i produkcji – jest niezwykle złożonym zadaniem, integrującym procesy sensoryczne, motoryczne, afektywne i poznawcze, stanowiąc doskonałe narzędzie do badania funkcji mózgowych. W obliczu powyższego poszukiwanie biologicznych korelatów procesów odbioru przekazu muzycznego, jak i stawianie pytań o ich specyfikę oraz lokalizację mózgową staje się więcej niż uzasadnione. Dzięki intensywnemu rozwojowi metod neuroobrazowania w ciągu ostatnich dwudziestu lat poczyniono znaczny postęp w zakresie obserwacji pracy mózgu. Celem niniejszego artykułu jest przegląd wybranych badań poświęconych neuropsychologicznym aspektom percepcji utworów muzycznych.

MÓZGOWE OŚRODKI PERCEPCJI MUZYKI

Jak wspomniano wcześniej, wydaje się, że mózg ludzki jest naturalnie przystosowany do odbioru muzyki. Lecz czy zdolność ta zasadza się na uniwersalnych obwodach neuronalnych, wykorzystywanych podczas percepcji języka i innych dźwięków otoczenia? A może istnieje w mózgu ośrodek przetwarzania muzyki, podobnie jak istnieją ośrodki związane z rozumieniem i generowaniem przekazów lingwistycznych?

Aby odpowiedzieć na te pytania, konieczne jest prześledzenie przebiegu i działania drogi słuchowej od momentu detekcji fali akustycznej aż do powstania subiektywnego wrażenia. Fala akustyczna, wprawiając w drgania struktury ucha środkowego (błona bębenkowa, kosteczki słuchowe, okienko owalne), wywołuje ruch przychłonki (perylimfy), substancji wypełniającej ucho wewnętrzne. Falowanie perylimfy powoduje wychylenia błony podstawnej

w narządzie Cortiego, znajdującym się w ślimaku ucha wewnętrznego. Na skutek ruchu błony podstawnej rzęski budujących narząd Cortiego komórek rzęsatych uginają się, co prowadzi do otwarcia kanałów jonowych znajdujących się w ich szczytowej części. Ruch jonów powoduje depolaryzację błony komórki i, w efekcie, transformację energii mechanicznej na impuls bioelektryczny. Powstające wzorce pobudzenia, różniące się w zależności od częstotliwości oraz natężenia dźwięków, przesyłane są nerwem ślimakowym do ośrodków w pniu mózgu, a następnie przez struktury śródmózgowia i międzymózgowia do wyspecjalizowanych ośrodków słuchowych w korze mózgu. Informacje akustyczne trafiają w pierwszej kolejności do pierwszorzędowej kory słuchowej, zlokalizowanej w zakręcie Heschla płata skroniowego, a stamtąd do sąsiadującej z nią kory drugorzędowej (asocjacyjnej). Okolice pierwszorzędowe, odbierające informacje z narządów zmysłów, dokonują zwykle prostych analiz bodźców, zaś bardziej złożone i wzbogacone wrażenia formowane są przez korę wyższego rzędu. Oba ośrodki słuchowe cechuje organizacja tonotopowa, charakterystyczna także dla wcześniejszych etapów drogi słuchowej. Oznacza to, że szlaki neuronowe kodujące informacje o poszczególnych częstotliwościach układają się przestrzennie w pasma uporządkowane od najniższych do najwyższych częstotliwości. Kora słuchowa pierwszego i drugiego rzędu zlokalizowana jest obupółkulowo, a struktury w lewej i prawej półkuli są ze sobą połączone poprzez ciało modzelowate, co umożliwia wymianę informacji między ośrodkami. Warto również pamiętać, że droga ta ma odgałęzienia prowadzące informacje słuchowe do innych obszarów mózgu, jak układ limbiczny czy struktury płata czołowego (por. dalej).

Dzięki badaniom neuropsychologicznym udało się dość precyzyjnie określić, za jakie aspekty percepcji bodźców muzycznych odpowiada kora słuchowa pierwszego i drugiego rzędu. W ramach ośrodków pierwszorzędowych przetwarzane są takie właściwości dźwięków, jak wysokość, czas trwania, „szorstkość” (ang. *roughness*) czy ich głośność, zaś kora drugorzędowa odpowiada za analizę interwałów, grupowanie (identyfikację strumieni dźwięków z odrębnych źródeł, np. dla różnych instrumentów) oraz za

⁸ D.A. Hodges, *Wired for Music: The Science of Human Musicality*, „ASTC Dimensions” 2007 lipiec–sierpień, s. 9–10; S. Koelsch, *Toward a Neural Basis of Music Perception – a Review and Updated Model*, „Frontiers in Psychology” 2011 t. 2, art. 110, s. 1–20.

percepcję barwy⁹. Oznacza to, że reprezentacja mentalna utworu budowana jest stopniowo, począwszy od prostych analiz elementów składowych do syntezy uwzględniającej relacje pomiędzy dźwiękami. Reprezentacja wzbogacana jest również o aspekty afektywne czy znaczeniowe, dzięki którym muzyka może wywoływać np. radość czy zaskoczyć nietypową strukturą (por. dalej). Powstanie całościowej reprezentacji mentalnej utworu jest zatem wynikiem interakcji wielu ośrodków mózgowych (zob. model Koelscha z 2011 roku).

Warto jednak zauważyć, że mimo iż sposób budowania doznań muzycznych przez mózg jest uniwersalny, wykrywa się pewną specyfikę wzorców aktywacji zależną od cech zadania, jak i charakterystyk słuchacza. W zależności od aspektu utworu, na który zwróci się uwagę osoby słuchającej, wykrywana jest charakterystyczna asymetria aktywacji okolic słuchowych. Jeżeli zadanie słuchacza wiąże się z percepcją interwałów, śledzeniem konturu melodii czy barwy dźwięków, silniej aktywowana jest półkula prawa. Jeśli natomiast słuchacz koncentruje się na percepcji rytmu czy śledzeniu zmian wysokości dźwięków w czasie, wykrywana jest silniejsza aktywacja lewej półkuli¹⁰. Badacze skłonni są na tej podstawie twierdzić, że ośrodki słuchowe leżące po lewej stronie specjalizują się w analizie czasowej, zaś po prawej stronie – w analizie częstotliwościowej muzyki¹¹. Obserwacja ta jest spójna z danymi wskazującymi na silniejsze zaangażowanie struktur lewopółkulowych podczas wykonywania szeregu zadań językowych – dla rozumienia mowy kluczowe jest bowiem wykrywanie szybkich zmian w dźwiękach, zachodzących w czasie. Niemniej należy pamiętać, że niektóre aspekty mowy są przetwarzane również prawopółkulowo¹²,

a muzyka i mowa angażują także odmienne części kory słuchowej, sugerując co najmniej częściową niezależność obwodów neuronalnych zaangażowanych w ich przetwarzanie¹³. Uznać zatem można, że o ile obie półkule biorą czynny udział w percepcji muzyki, o tyle każda z półkul wydaje się być lepiej przystosowana do analizy odmiennych jej aspektów. Badania wskazują również na silniejszą w porównaniu do laików aktywację mózgu zawodowych muzyków podczas percepcji utworów, zwłaszcza w obrębie kory drugorzędowej¹⁴. Stopień aktywacji jest zależny od wieku, w jakim muzycy rozpoczęli edukację, a także od tego, czy posiadają oni słuch absolutny, czy też nie. Różnicom aktywacji towarzyszą również różnice strukturalne – kora słuchowa muzyków zbudowana jest z większej ilości istoty szarej niż w przypadku laików¹⁵. Wydaje się, że wiedza i doświadczenie dostarczają dodatkowych kontekstów analizy, wielości wykrywanych znaczeń, przekładając się na większą złożoność reprezentacji i tym samym wyższą aktywację. Możliwe jest również, że muzycy nawykowo słuchają muzyki w sposób aktywny i analityczny, co uwidacznia się w silniejszym zaangażowaniu wymienionych wcześniej okolic mózgowych.

PROCESY AFEKTYWNE A ODBIÓR MUZYKI

Niewątpliwie jedną z przyczyn, dla których z tak wielką chęcią tworzymy i słuchamy muzyki, jest fakt, że budzi ona w nas silne reakcje emocjonalne. Na łamach naukowych periodyków wciąż trwa dyskusja, na ile radość czy strach wywoływane przez utwory muzyczne są podobne do emocji wzbudzanych zdarzeniami codziennymi. Przykładowo, Klaus Scherer¹⁶ postuluje

⁹ R.J. Zatorre, A.C. Evans, E. Meyer, *Neural Mechanisms Underlying Melodic Perception and Memory for Pitch*, „The Journal of Neuroscience” 1994 t. 14 nr 4, s. 1908–1919; S. Koelsch, W.A. Siegel, *Toward a Neural Basis of Music Perception*, „Trends in Cognitive Science” 2005 t. 9 nr 12, s. 578–584.

¹⁰ H. Platel, C. Price, J.-C. Baron, R. Wise, J. Lambert, R.S.J. Frackowiak, B. Lechevalier, F. Eustache, *The Structural Components of Music Perception. A Functional Anatomical Study*, „Brain” 1997 t. 120, s. 229–243.

¹¹ R.J. Zatorre, P. Belin, V.B. Penhne, *Structure and Function of Auditory Cortex: Music and Speech*, „Trends in Cognitive Sciences” 2002 t. 16 nr 1, s. 37–46.

¹² A.M. Alexandrou, T. Saarinen, S. Mäkelä, J. Kujala, R. Salmelin, *The Right Hemisphere Is Highlighted in Connected Natural Speech Production and Perception*, „NeuroImage” 2017 t. 152, s. 628–638.

¹³ C. Rogalsky, F. Rong, K. Saberi, G. Hickok, *Functional Anatomy of Language and Music Perception: Temporal and Structural Factors Investigated Using fMRI*, „Journal of Neuroscience” 2011 t. 31 nr 10, s. 3843–3852.

¹⁴ Y. Seung, J.-S. Kyong, S.-H. Woo, B.-T. Lee, K.-M. Lee, *Brain Activation during Music Listening in Individuals with or without Prior Music Training*, „Neuroscience Research” 2005 t. 52 nr 4, s. 323–329.

¹⁵ P. Schneider, M. Scherg, *Morphology of Heschl's Gyrus Reflects Enhanced Activation in the Auditory Cortex of Musicians*, „Nature Neuroscience” 2002 t. 5 nr 7, s. 688–694.

¹⁶ K.R. Scherer, *Which Emotions Can Be Induced by Music? What Are the Underlying Mechanisms? And How Can We Measure Them?*, „Journal of New Music Research” 2004 t. 33 nr 3, s. 239–251.

odróżnienie spełniających funkcje adaptacyjne emocji powstających w odpowiedzi na bodźce środowiskowe od emocji estetycznych, jakie może wzbudzać dzieło sztuki. Te drugie są jakościowo odmienne, wyrażają się również słabszymi i mniej rozległymi reakcjami cieleśnymi. Wyniki badań z wykorzystaniem neuroobrazowania stanowią interesujący wkład w opisywaną dyskusję, gdyż pozwalają na empiryczną weryfikację postulatu Scherera – odmienność emocji budzonych przez muzykę powinna przejawiać się bowiem w zaangażowaniu odmiennych struktur mózgowych bądź w innym wzorcu ich aktywacji.

Jedną z pierwszych prób badawczych w omawianym obszarze podjęła A. Blood¹⁷. Obrazowała ona pobudzenie struktur mózgowych podczas pasywnego słuchania melodii o zróżnicowanym udziale akordów dysonujących, budzących negatywne emocje u większości słuchaczy wychowanych w zachodniej kulturze muzycznej. Zgodnie z oczekiwaniami raportowane przez badanych subiektywny dyskomfort i brak przyjemności były tym większe, im bardziej dysonujący był utwór. Wrażeniom tym towarzyszyła aktywacja struktur mózgowych należących do tzw. układu limbicznego, a w szczególności – prawego zakrętu przyhipokampowego. Układ limbiczny obejmuje szereg okolic korowych i podkorowych mózgu zaangażowanych m.in. w powstawanie i regulację różnych stanów afektywnych, zaś zakręt przyhipokampowy wiązany jest przede wszystkim z reakcjami na bodźce negatywne. Komplementarne dane dotyczące reakcji pozytywnych uzyskano dwa lata później¹⁸. Słuchanie przez osoby badane muzyki budzącej silne uczucia euforii czy uniesienia powiązane jest z aktywacją m.in. jądra półleżącego, wchodzącego w skład tzw. mózgowego układu nagrody. Struktury tego układu odpowiedzialne są za uczucia przyjemności generowane w odpowiedzi na biologicznie znaczące bodźce (np. jedzenie, bodźce erotyczne); działają na te struktury również substancje psychoaktywne wywołujące stany euforyczne i pobudzenie energetyczne (np. extasy).

Zasadne wydaje się w tym kontekście stwierdzenie, że emocje powstające w kontakcie z muzyką – zarówno pozytywne, jak i negatywne – są z perspektywy mózgowej jak najbardziej rzeczywiste, wykorzystują obwody neuronalne przetwarzające informacje afektywne w codziennych sytuacjach. Interesujące jest, że aktywacji układu nagrody podczas słuchania muzyki towarzyszy „deaktywacja” ciała migdałowatego¹⁹. Struktura ta jest częścią wspomnianego wcześniej układu limbicznego mającą swój szczególny udział w powstawaniu negatywnych reakcji emocjonalnych, jak strach czy złość. Wydaje się zatem, że muzyka nie tylko wywołuje dobre samopoczucie, lecz posiada również moc przeciwdziałania samopoczuciu złemu. Co więcej, odczuwanej przez badanych podczas słuchania utworów muzycznych subiektywnej przyjemności towarzyszy szereg zmian fizjologicznych, takich jak zmiany częstotliwości uderzeń serca, napięcia mięśniowego, głębokości oddechu czy piloerekcja („gęsia skórka”). Efekty te obserwowano zarówno dla muzyki dobrze słuchaczom znanej, jak i dla utworów słyszanych po raz pierwszy. Występowanie tych zjawisk skorelowane jest z aktywnością m.in. podwzgórza – struktury odpowiedzialnej za automatyczne sterowanie reakcjami fizjologicznymi podczas odczuwania np. strachu w sytuacji realnego zagrożenia²⁰. W kontekście powyższych wyników ciekawe wydaje się to, że struktury ewolucyjnie stare, wyspecjalizowane w reagowaniu na bodźce przede wszystkim o znaczeniu biologicznym (np. obecność drapieżnika, bliskość pokarmu), są wzbudzane także w sytuacji percepcji i przetwarzania utworów muzycznych. Może to sugerować, że muzyka również posiada dla nas biologicznie istotne znaczenie.

Istnieje wiele koncepcji i teorii próbujących wyjaśnić, jaki może być mechanizm wzbudzania reakcji emocjonalnych przez muzykę. Przykładowo, jak sugerują A.J. Blood i R.J. Zatorre, w toku ewolucji gatunek ludzki nauczył się czerpać przyjemność z obecności bodźców abstrakcyjnych, pośrednio jedynie związanych z przetrwaniem i sukcesem

¹⁷ A.J. Blood, R.J. Zatorre, P. Bermudez, A.C. Evans, *Emotional Responses to Pleasant and Unpleasant Music Correlate with Activity in Paralimbic Brain Regions*, „Nature Neuroscience” 1999 t. 2 nr 4, s. 382–387.

¹⁸ A.J. Blood, R.J. Zatorre, *Intensely Pleasurable Responses to Music Correlate with Activity in Brain Regions Implicated in Reward and Emotion*, „PNAS” 2001 t. 98 nr 20, s. 11818–11823.

¹⁹ S. Brown, M.J. Martinez, L.M. Parsons, *Passive Music Listening Spontaneously Engages Limbic and Paralimbic Systems*, „NeuroReport” 2004 t. 15 nr 13, s. 2033–2037.

²⁰ V. Menon, D.J. Levitin, *The Rewards of Music Listening: Response and Physiological Connectivity of the Mesolimbic System*, „NeuroImage” 2005 t. 28, s. 175–184.

reprodukcyjnym (np. pieniądze, szacunek czy posiadana władza). Umiejętność reagowania radością czy smutkiem w odpowiedzi na struktury dźwiękowe byłaby zatem produktem ubocznym rozwiniętych możliwości poznawczych człowieka, umożliwiającą budowanie tego rodzaju asocjacji. S. Koelsch²¹ postuluje z kolei, że źródłem emocji budzonych przez muzykę może być bezpośrednio jej struktura – przyjemność w odbiorze powstaje z realizacji melodycznych i rytmicznych oczekiwań oraz rozwiązywania napięć. Hipoteza ta wyjaśnia, dlaczego lubimy muzykę znaną i, z drugiej strony, dlaczego odczuwamy trudność i dyskomfort w odbiorze muzyki dla nas nietypowej (np. z innego kręgu kulturowego). Autor wskazuje również na inny mechanizm powstawania emocji pod wpływem bodźców muzycznych, jakim jest tzw. zarażanie afektywne (ang. *emotional contagion*). Parametry muzyczne, jak tempo czy tonacja, na zasadzie prostych, konkretnych asocjacji kojarzą się słuchaczom z określonymi stanami emocjonalnymi (np. żywe tempo, tonacja durowa są zwykle kojarzone z ruchem radosnej osoby), co wywołuje określone reakcje fizjologiczne (np. zmiany w napięciu mięśni), które z kolei zwrótnie powodują powstanie subiektywnego doznania. Wymienione powyżej mechanizmy uwzględnione zostały w unifikującym modelu BRECVEM autorstwa P.N. Juslina²², w którym autor wskazuje również na istotną rolę m.in. wyobraźni wzrokowej czy też pamięci epizodycznej w procesie budzenia emocji w odpowiedzi na utwory muzyczne. Pod wpływem muzyki mogą być przywoływane określone obrazy umysłowe (np. piękny zachód słońca) czy też wspomnienia z biografii słuchającego związane z określonym utworem, które z kolei wywołują doświadczenie emocjonalne. Perspektywa ta pozwala m.in. zrozumieć, dlaczego u różnych osób ten sam utwór może budzić zróżnicowane reakcje afektywne. Przytoczona tu lista postulowanych mechanizmów absolutnie nie jest wyczerpująca, a przyczyny, dla których utwory muzyczne budzą u słuchaczy emocje, nadal pozostają przedmiotem żywej dyskusji na łamach fachowej literatury. Niemniej nie ulega raczej

wątpliwości, że emocje powstające pod wpływem muzyki, jak i codziennych zdarzeń, są mózgowo analogiczne i równie rzeczywiste.

MOTORYKA W PROCESIE ODBIORU MUZYKI

W przeciwieństwie do bodźców wizualnych muzyka posiada szczególną łatwość organizowania sekwencji motorycznych²³. Niezależnie od poziomu wykształcenia muzycznego bez trudu klaszczemy czy kiwamy głową w jej rytm; jesteśmy również w stanie dostosować tempo i sposób poruszania się do słuchanego utworu (np. biegniemy bardziej dynamicznie podczas słuchania energicznej muzyki). Efekt ten wydaje się szczególnie uwydatniony u zawodowców – wykonywanie muzyki nieodmiennie pociąga za sobą jej percepcję, zaś słyszane dźwięki są ważną informacją zwrotną dotyczącą precyzji i jakości wykonywanych podczas grania ruchów. Muzycy często mówią o byciu „niesionym” przez muzykę, gdzie melodia i rytm niemal samoistnie przekładają się na działanie palców czy dłoni. Co więcej, pasywne odsłuchiwanie dobrze znanych utworów budzi w nich niejednokrotnie poczucie czy też iluzję ruchu; w niektórych przypadkach mimowolnie poruszają się dłonie czy palce, imitując ruchy towarzyszące wykonaniu. Wszystkie te zjawiska sugerować mogą istnienie uprzywilejowanych (tj. dodatkowych bądź silniejszych) w porównaniu do np. ośrodków wzrokowych połączeń między ośrodkami ruchowymi a strukturami odpowiedzialnymi za percepcję i przetwarzanie muzyki.

Eksperymentalnej weryfikacji powyższego przypuszczenia jako jedni z pierwszych podjęli się J. Haueisen i T.R. Knösche²⁴. Pianistom i multiinstrumentalistom prezentowano w badaniu fragmenty znanych im utworów fortepianowych, obrazując jednocześnie aktywność elektryczną wybranych okolic mózgowych. Zgodnie z oczekiwaniami bierny odbiór muzyki wywoływał spontaniczną aktywność elektryczną części

²¹ S. Koelsch, *Brain Correlates of Music-Evoked Emotions*, „Nature” 2014 t. 15 nr 3, s. 170–180.

²² P.N. Juslin, *From Everyday Emotions to Aesthetic Emotions: Towards a Unified Theory of Musical Emotions*, „Physics of Life Reviews” 2013 t. 10 nr 3, s. 235–266.

²³ B.H. Repp, A. Penel, *Rhythmic Movement Is Attracted More Strongly to Auditory than to Visual Rhythms*, „Psychological Research” 2004 t. 68 nr 4, s. 252–270.

²⁴ J. Haueisen, T.R. Knösche, *Involuntary Motor Activity in Pianists Evoked by Music Perception*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2001 t. 13 nr 6, s. 786–792.

pierwszorzędowej kory ruchowej, bezpośrednio odpowiedzialnej za zawiadywanie ruchami palców dłoni. Ku zaskoczeniu badaczy, nie zaobserwowano natomiast żadnej aktywności kory ruchowej drugiego rzędu. Kora ta wyspecjalizowana jest w planowaniu ruchów, a jej aktywacja poprzedzać powinna aktywność ośrodków pierwszorzędowych i tym samym wykonanie ruchu. Autorzy wynik ten tłumaczą biegłością badanych, którzy z uwagi na swoje wykształcenie wykonywali słyszane utwory wcześniej – w przypadku czynności zautomatyzowanych udział okolic planistycznych dla ruchu jest zwykle minimalny.

Powyższe dane mogą sugerować, że obserwowana współaktywacja ośrodków ruchowych i słuchowych podczas odbioru muzyki jest zapośredniczana doświadczeniem muzycznym jednostki. Hipoteza ta znalazła swoje potwierdzenie w badaniach A. D'Ausilo²⁵. Obok warunku pasywnego słuchania nieznanymi utworów muzycznych uczestniczący w badaniu pianiści mieli również możliwość zagrania niektórych z nich. Zaobserwowano, że już 30-minutowa praktyka pociąga za sobą silne pobudzenie okolic motorycznych w sytuacji pasywnego odsłuchu. Zalecone badanym dalsze ćwiczenie przez pięć kolejnych dni dodatkowo wzmocniło obserwowany efekt, potwierdzając, że to ćwiczenie powoduje powstanie mózgowych asocjacji między reprezentacjami ruchowymi a słuchowymi dla danego utworu. Im zaś silniejszy jest między nimi związek, tym silniejszym wzbudzeniem reaguje jeden z ośrodków w sytuacji wzbudzenia drugiego. Co ciekawe, wydaje się, że wyniki badań sugerują również, że połączenia te są dwukierunkowe. Pasywne słuchanie utworów fortepianowych przez zawodowych pianistów wywołuje spontaniczną aktywność ośrodków ruchowych, lecz jednocześnie wykonywanie utworu na specjalnie spreparowanej bezdźwięcznej klawiaturze wzbudza aktywację ośrodków słuchowych, wywołując złudzenie słyszenia dźwięków²⁶.

Warto również odnotować, że szczególnie wyrazista aktywacja struktur mózgowych związanych

z ruchem obserwowana jest w sytuacji odbioru muzyki silnie zrytmizowanej bądź zredukowanej do samego rytmu (np. wystukiwanego). Odsłuchiwanie tak skonstruowanych utworów pociąga za sobą silną aktywację jąder podstawy, dodatkowej kory ruchowej (ang. *supplementary motor cortex*, SMA), kory przedruchowej (ang. *premotor cortex*, PMA) oraz mózdzku²⁷. Wzorzec aktywacji jest podobny niezależnie od tego, czy badani biernie słuchają zrytmizowanych struktur, czy też przygotowują się do ich powtórzenia²⁸. Wszystkie wymienione struktury są silnie angażowane w zadaniach wymagających planowania ruchu w oparciu o rytm, jak również kontroli czasowej wykonania (np. zainicjowanie konkretnego ruchu zgodnie z miarą utworu). Wydaje się więc, że to właśnie rytm i puls muzyki umożliwiają nam doświadczenie przebiegu ruchowego utworu w sferze motoryki własnej.

Mimo niewątpliwych postępów nadal nie jest jasne, w jaki sposób mózg jest w stanie mapować struktury rytmiczne i melodyczne na określone kategorie i parametry ruchowe. Choć posiadamy dowody na to, że relacje między ośrodkami analizy słuchowej i ośrodkami motorycznymi zależne są od doświadczenia muzycznego, brakuje również danych dotyczących aspektu rozwojowego zjawiska (a wiadomo skądinąd, że na określone aspekty wykonawstwa wpływa wiek, w którym muzyk rozpoczął proces kształcenia). Niemniej dane pozwalają zrozumieć naturalną i trudną do przełamania skłonność ludzi do wykonywania ruchu w rytmie muzyki, jak i są swojego rodzaju potwierdzeniem zasadności przekonania, że odsłuchiwanie utworów, zwłaszcza połączone z wizualizacją ruchów, może również przyczynić się do poprawy wykonania.

PERCEPCJA UTWORÓW MUZYCZNYCH A PROCESY KONTROLNE

Kora czołowa i przedczołowa (najsilniej wysunięta do przodu część płata czołowego) tworzą płat mózgu prawdopodobnie najbardziej złożony pod względem

²⁵ A. D'Ausilo, E. Altenmüller, M.O. Belardinelli, M. Lotze, *Cross-Modal Plasticity of the Motor Cortex while Listening to a Rehearsed Musical Piece*, „European Journal of Neuroscience” 2006 t. 24 nr 3, s. 955–958.

²⁶ R.J. Zatorre, J.L. Chen, V.B. Penhune, *When the Brain Plays Music: Auditory–Motor Interactions in Music Perception and Production*, „Nature Reviews. Neuroscience” 2007 t. 8, s. 547–558.

²⁷ J.A. Grahn, M. Brett, *Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2007 t. 19 nr 5, s. 893–906.

²⁸ J.L. Chen, V.B. Penhune, R.J. Zatorre, *Listening to Musical Rhythms Recruits Motor Regions of the Brain*, „Cerebral Cortex” 2008 t. 18 nr 12, s. 2844–2854.

cytoarchitektonicznym i funkcjonalnym. Obszar ten jest najmłodszy z punktu widzenia ewolucji i jednocześnie jako ostatni dojrzewa w procesie rozwoju osobniczego. Aktywacja płata czołowego wykrywana jest podczas szerokiej gamy zadań poznawczych i afektywnych wykonywanych na różnorodnym materiale, w tym – jak sugerują wyniki badań – także muzycznym.

Przykładowo, aktywację okolic przedczołowych obserwuje się w zadaniach, w których oprócz samego słuchania utworów konieczne jest wykonanie na nich określonych operacji mentalnych, np. zapamiętania, porównywania czy oceniania. W płatach czołowych mieszczą się obwody neuronalne odpowiedzialne za pamięć roboczą, procesy kontroli poznawczej, jak i inne wyższe procesy umysłowe (np. podejmowanie decyzji), zatem ich zaangażowanie w proces aktywnej analizy bodźców muzycznych nie jest zaskakujące. Podobnie, aktywność kory przedczołowej wykrywana jest również w badaniach poświęconych reakcjom emocjonalnym na muzykę. We wspomnianych wcześniej badaniach Blood, dotyczących odbioru muzyki dysonującej, aktywacji układu limbicznego towarzyszyła aktywność okolic przedczołowych. Tu z kolei wyższemu wzbudzeniu struktur czołowych towarzyszyła obniżona aktywacja ciała migdałowatego. Jako że kora przedczołowa odgrywa dużą rolę w procesie kontroli i supresji (wyciszania) emocji, obserwowana aktywacja była najprawdopodobniej efektem próby „poradzenia sobie” z negatywnym stanem emocjonalnym wywołanym nieprzyjemną muzyką.

Niezwykle interesujący wątek w badaniach nad rolę struktur czołowych w percepcji utworów muzycznych zapoczątkowały badania P. Janaty²⁹. Uczestnikom znajdującym się w skanerze rejestrującym aktywność mózgu prezentowano utwory muzyczne o dynamicznie zmienianej tonacji. Zaobserwowano specyficzny wzór aktywacji okolic czołowych, zmieniający się w momencie, gdy modyfikowany jest utwór. Wynik ten badacze interpretują na korzyść hipotezy, że aktywność obszarów przedczołowych odzwierciedla proces rozpoznawania tonacji – autorom udało się nawet znaleźć odmienne wzorce pobudzeniowe dla każdej podstawowej tonacji durowej i molowej.

²⁹ P. Janata, J.L. Birk, J.D. Van Horn, M. Leman, B. Tillmann, J.J. Bharucha, *The Cortical Topography of Tonal Structures Underlying Western Music*, „Science” 2002 t. 298 nr 5601, s. 2167–2170.

W momencie, gdy tonacja zostanie zidentyfikowana – a wraz z nią możliwe dźwięki i odległości między nimi – słuchacz jest w stanie budować oczekiwania dotyczące dalszego przebiegu muzyki. To z jednej strony ułatwia sam akt percepcji, z drugiej zaś – pozwala wykrywać swego rodzaju nieprawidłowości w przebiegu utworu, jak np. pojawienie się dźwięku spoza tonacji. Funkcje te są odzwierciedlone w silnych, dwukierunkowych połączeniach między okolicami przedczołowymi a skroniowymi. Potwierdzenie znajdowane jest również w wynikach innych badań, w których pogwałceniu reguł budowania struktur melodycznych czy rytmicznych towarzyszy silna odpowiedź okolic przedczołowych³⁰.

Skąd natomiast wiadomo, jaka jest tonacja aktualnie słuchanego utworu? Najprawdopodobniej informacje te przechowywane są w sieciach neuronalnych płata skroniowego, odpowiedzialnego za szeroko pojętą pamięć długotrwałą – słyszane w danym momencie wzorce melodyczne i rytmiczne porównywane byłyby z wzorcami przechowywanymi, nabytymi w toku doświadczeń indywidualnych i edukacji. Faktycznie, badania strukturalne mózgu wskazują na istnienie silnych połączeń między okolicami przedczołowymi a górną bruzdą skroniową, stanowiącą najprawdopodobniej magazyn reprezentacji melodycznych. Co ciekawe, u osób cierpiących na pewne typy amuzji, charakteryzującej się upośledzeniem percepcji wysokości dźwięków i niewrażliwością na fałsze, wykrywa się dysfunkcje w obrębie omawianych połączeń. Szlaki wiodące od okolic czołowych, zajmujących się analizą i kontrolą, do przechowujących dane okolic skroniowych są u takich osób nieoptymalne – połączeń jest niewiele bądź też nie jest osiągnięty odpowiedni stopień aktywacji w sieci, co zwrótnie upośledza zarówno rozpoznawanie, jak i zapamiętywanie struktur muzycznych³¹.

Powyższe dane sugerują, że aktywacja kory przedczołowej zapewnia identyfikację i utrzymanie swego rodzaju kontekstu melodycznego, w ramach którego

³⁰ C.J. Limb, *Structural and Functional Neural Correlates of Music Perception*, „The Anatomical Record” 2006 t. 288 nr 4, s. 435–446.

³¹ P. Albouy, J. Mattout, R. Bouet, E. Maby, G. Sanchez, P.-E. Aguerre, S. Daligault, C. Delpuech, O. Bertrand, A. Caclin, B. Tillmann, *Impaired Pitch Perception and Memory in Congenital Amusia: The Deficit Starts in the Auditory Cortex*, „Brain” 2013 t. 136 nr 5, s. 1639–1661.

odczytywany i interpretowany jest przebieg utworu. Co ciekawe, zjawisko to obserwowane jest zarówno u profesjonalistów, jak i laików muzycznych. Wydaje się więc, że elementarną wiedzę o zasadach budowy utworów muzycznych nabywamy niejako niejawnie, w procesie akulturacji i styczności z muzyką. To z kolei pozwala zrozumieć, dlaczego percepcja utworów z odmiennych niż słuchacza kręgów kulturowych stanowi zwykle wyzwanie. Nie znając zasad budowy utworów w danym kręgu kulturowym (np. na skutek braku formalnej edukacji) czy też w sytuacji braku swoistego osłuchania z takimi utworami, nie jesteśmy w stanie w pełni przewidzieć, w jaki sposób rozwiną się one w czasie, a tym samym ułatwiać ich percepcji i przetwarzania. Częstsze niespełnianie sformułowanych przez nas oczekiwań odnośnie do dalszego przebiegu utworu umożliwi również wyjaśnienie, dlaczego kontakt z muzyką odmienną kulturowo sprawia także mniej przyjemności niż muzyka, z którą jesteśmy dobrze zaznajomieni. Interesujący jest również fakt, że analogiczną funkcję kory przedczołowej w zakresie wykrywania błędów i nieprawidłowości strukturalnych obserwuje się również w przypadku badań nad językiem³². Otwiera to zupełnie nowy rozdział w toczącej się dyskusji dotyczącej zawartości syntaktycznej muzyki i podobieństw jej struktur do struktur lingwistycznych.

PODSUMOWANIE

Mimo rosnącej puli danych empirycznych, jak i podejmowanych prób syntezy teoretycznej, nasze rozumienie sposobu, w jaki mózg jest w stanie budować skomplikowane i subtelne zarazem reprezentacje muzyki, pozostaje nadal niekompletne. Niemniej na podstawie przytoczonych w niniejszym artykule badań wysnuć można wniosek, że nie istnieje jeden wyspecjalizowany mózgowy ośrodek percepcji muzyki. Przeciwnie, wydaje się, że percepcja muzyki jest procesem angażującym obie półkule i wiele różnych struktur mózgowych. Wreszcie, dane neuropsychologiczne zdają się potwierdzać opinię, że zawodowi

muzycy odbierają muzykę w odmienny od laików sposób, a możliwość wykonania utworu niezawodnie zmienia jego percepcję.

BIBLIOGRAFIA

- Albouy Phillipe, Mattout Jeremie, Bouet Romain, Maby Emmanuel, Sanchez Gaetan, Aguera Pierre-Emmanuel, Daligault Sebastien, Delpuech Claude, Bertrand Olivier, Caclin Anne, Tillmann Barbara, *Impaired Pitch Perception and Memory in Congenital Amusia: The Deficit Starts in the Auditory Cortex*, „Brain” 2013 t. 136 nr 5, s. 1639–1661.
- Alexandrou Anna M., Saarinen Timo, Mäkelä Sasu, Kujala Jan, Salmelin Riitta, *The Right Hemisphere Is Highlighted in Connected Natural Speech Production and Perception*, „NeuroImage” 2017 t. 152, s. 628–638.
- Blood Anne J., Zatorre Robert J., *Intensely Pleasurable Responses to Music Correlate with Activity in Brain Regions Implicated in Reward and Emotion*, „PNAS” 2001 t. 98 nr 20, s. 11818–11823.
- Blood Anne J., Zatorre Robert J., Bermudez Patrick, Evans Alan C., *Emotional Responses to Pleasant and Unpleasant Music Correlate with Activity in Paralimbic Brain Regions*, „Nature Neuroscience” 1999 t. 2 nr 4, s. 382–387.
- Brown Steven, Martinez Michael J., Parsons Lawrence M., *Passive Music Listening Spontaneously Engages Limbic and Paralimbic Systems*, „NeuroReport” 2004 t. 15 nr 13, s. 2033–2037.
- Chen Joyce L., Penhune Virginia B., Zatorre Robert J., *Listening to Musical Rhythms Recruits Motor Regions of the Brain*, „Cerebral Cortex” 2008 t. 18 nr 12, s. 2844–2854.
- Creighton Alison, *Mother-Infant Musical Interaction and Emotional Communication: A Literature Review*, „Australian Journal of Musical Therapy” 2011 t. 22, s. 37–56.
- D'Ausilo Alessandro, Altenmüller Eckart, Belardinelli Marta O., Lotze Martin, *Cross-Modal Plasticity of the Motor Cortex while Listening to a Rehearsed Musical Piece*, „European Journal of Neuroscience” 2006 t. 24 nr 3, s. 955–958.
- Grahn Jessica A., Brett Matthew, *Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2007 t. 19 nr 5, s. 893–906.
- Haueisen Jens, Knösche Thomas R., *Involuntary Motor Activity in Pianists Evoked by Music Perception*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2001 t. 13 nr 6, s. 786–792.

³² H.-A. Jeon, *Hierarchical Processing in the Prefrontal Cortex in a Variety of Cognitive Domains*, „Frontiers in Systems Neuroscience” 2014 nr 8, art. 223.

- Hodges Donald A., *Wired for Music: The Science of Human Musicality*, „ASTC Dimensions” 2007 lipiec–sierpień, s. 9–10.
- Huron David, *Is Music an Evolutionary Adaptation?*, „Annals of the New York Academy of Science” 2001 t. 930, s. 43–61.
- Janata Petr, Birk Jeffrey L., Van Horn John D., Leman Marc, Tillmann Barbara, Bharucha Jamshed J., *The Cortical Topography of Tonal Structures Underlying Western Music*, „Science” 2002 t. 298 nr 5601, s. 2167–2170.
- Jeon Hyeon-Ae, *Hierarchical Processing in the Prefrontal Cortex in a Variety of Cognitive Domains*, „Frontiers in Systems Neuroscience” 2014 nr 8, art. 223.
- Juslin Patrik N., *From Everyday Emotions to Aesthetic Emotions: Towards a Unified Theory of Musical Emotions*, „Physics of Life Reviews” 2013 t. 10 nr 3, s. 235–266.
- Koelsch Stefan, *Brain Correlates of Music-Evoked Emotions*, „Nature Reviews Neuroscience” 2014 t. 15 nr 3, s. 170–180.
- Koelsch Stefan, *Toward a Neural Basis of Music Perception – a Review and Updated Model*, „Frontiers in Psychology” 2011 t. 2, art. 110, s. 1–20.
- Koelsch Stefan, Siegel Walter A., *Toward a Neural Basis of Music Perception*, „Trends in Cognitive Science” 2005 t. 9 nr 12, s. 578–584.
- Limb Charles J., *Structural and Functional Neural Correlates of Music Perception*, „The Anatomical Record” 2006 t. 288 nr 4, s. 435–446.
- Matasaka Nobuo, *Music, Evolution and Language*, „Developmental Science” 2007 t. 10 nr 1, s. 35–39.
- Menon Vinod, Levitin Daniel J., *The Rewards of Music Listening: Response and Physiological Connectivity of the Mesolimbic System*, „NeuroImage” 2005 t. 28, s. 175–184.
- Platel Herve, Price Cathy, Baron Jean-Claude, Wise Richard, Lambert Jany, Frackowiak Richard S., Lechevalier Bernard, Eustache Francis, *The Structural Components of Music Perception. A Functional Anatomical Study*, „Brain” 1997 t. 120, s. 229–243.
- Repp Bruno H., Penel Amandine, *Rhythmic Movement Is Attracted more Strongly to Auditory than to Visual Rhythms*, „Psychological Research” 2004 t. 68 nr 4, s. 252–270.
- Rogalsky Corianne, Rong Feng, Saberi Kouros, Hickok Gregory, *Functional Anatomy of Language and Music Perception: Temporal and Structural Factors Investigated Using fMRI*, „Journal of Neuroscience” 2011 t. 31 nr 10, s. 3843–3852.
- Scherer Klaus R., *Which Emotions Can Be Induced by Music? What Are the Underlying Mechanisms? And How Can We Measure Them?*, „Journal of New Music Research” 2004 t. 33 nr 3, s. 239–251.
- Schneider Peter, Scherg Michael, *Morphology of Heschl’s Gyrus Reflects Enhanced Activation in the Auditory Cortex of Musicians*, „Nature Neuroscience” 2002 t. 5 nr 7, s. 688–694.
- Schulkin Jay, Raglan Greta B., *The Evolution of Music and Human Social Capability*, „Frontiers in Neuroscience” 2014 nr 8, art. 292, s. 1–13.
- Seung Yunhee, Kyong Jeong-Sug, Woo Sung-Ho, Lee Byeong-Taek, Lee Kyoung-Min, *Brain Activation during Music Listening in Individuals with or without Prior Music Training*, „Neuroscience Research” 2005 t. 52 nr 4, s. 323–329.
- Steven Brown, *The “Musilanguage” Model of Music Evolution*, [w:] *The Origins of Music*, red. Nils L. Wallin, Björn Merker, Steven Brown, MIT Press, Cambridge, Mass. 2001, s. 271–300.
- Tooby John, Cosmides Leda, *Does Beauty Build Adapted Minds? Toward an Evolutionary Theory of Aesthetics, Fiction and the Arts*, „SubStance” 2001 t. 30 nr 1/2, s. 6–27.
- Trehub Sandra, *The Developmental Origins of Musicality*, „Nature Neuroscience” 2003 t. 6 nr 7, s. 669–673.
- Zatorre Robert J., Belin Pascal, Penhune Virginia B., *Structure and Function of Auditory Cortex: Music and Speech*, „Trends in Cognitive Sciences” 2002 t. 16 nr 1, s. 37–46.
- Zatorre Robert J., Chen Joyce L., Penhune Virginia B., *When the Brain Plays Music: Auditory–Motor Interactions in Music Perception and Production*, „Nature Reviews. Neuroscience” 2007 t. 8, s. 547–558.
- Zatorre Robert J., Evans Alan C., Meyer Ernst, *Neural Mechanisms Underlying Melodic Perception and Memory for Pitch*, „The Journal of Neuroscience” 1994 t. 14 nr 4, s. 1908–1919.

SUMMARY

Karolina Czernecka

Neuropsychological aspects of music perception

The article reviews selected neuropsychological studies on brain correlates of music perception. First, the role and specialization of auditory cortex is discussed, focusing on differences between primary/secondary cortices as well as hemispheric asymmetry. Second, brain

structures giving rise to emotional experiences during music listening are discussed, along with several possible explanatory mechanisms. Third, studies showing strengthened relationships between motor and auditory areas of the brain are demonstrated in the context of relative easiness of music to organize actions. The last part of the article focuses on the role of prefrontal cortex in building musical expectations and error perception. The influence of additional variables, such as listener's musical training, on the observed effects is also discussed.

Keywords

music perception, neuropsychology, brain, music training, emotions, motor functions, executive functions